

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-101167
 (43)Date of publication of application : 07.04.2000

(51)Int.Cl. H01L 51/00
 H01L 29/06

(21)Application number : 11-263306 (71)Applicant : INTERNATL BUSINESS MACH CORP <IBM>
 (22)Date of filing : 17.09.1999 (72)Inventor : SARAF RAVI F
 WICKRAMASINGHE HEMANTHA

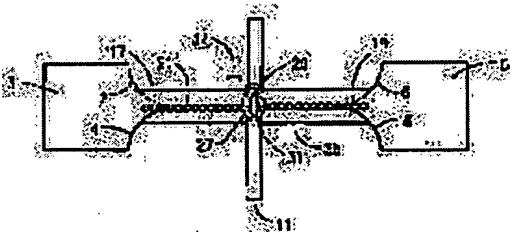
(30)Priority
 Priority number : 98 154575 Priority date : 17.09.1998 Priority country : US

(54) SELF-ORGANIZED NANODEVICE UTILIZING DNA

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To manufacture a nanodevice of a nanometer scale by a method wherein inorganic atoms are bonded to specified positions on an organic structure to constitute a product.

SOLUTION: An organic structure formed by a method wherein one piece of a nucleotide 31 is made to bond to DNA molecules 17 and 19 comprising one piece of an R loop 27 having nanoparticles 29, which are made to bond to the nucleotide 31 and are used as inorganic atoms, is formed between a first electrode 3 and a second electrode 5. By such organic structure, after a conductive material 35 is plated on DNA molecules 21, which are extended between the electrodes 3 and 5, an electrostatic bond 37 is generated between the material 35 on the DNA particles 21 and the nanoparticles 29. Thereby, a nanodevice, which is used as a device of a nanometer scale, can be manufactured.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 21.12.1999
 [Date of sending the examiner's decision of rejection]
 [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
 [Date of final disposal for application]
 [Patent number]
 [Date of registration]
 [Number of appeal against examiner's decision of rejection]
 [Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
 [Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-101167

(P2000-101167A)

(43)公開日 平成12年4月7日 (2000.4.7)

(51) Int.Cl.⁷

H 01 L 51/00
29/06

識別記号

F I

H 01 L 29/28
29/06

テマコード(参考)

(21)出願番号

特願平11-263306

(22)出願日

平成11年9月17日 (1999.9.17)

(31)優先権主張番号 09/154575

(32)優先日 平成10年9月17日 (1998.9.17)

(33)優先権主張国 米国 (U.S.)

審査請求 有 請求項の数75 O L (全15頁)

(71)出願人 390009531

インターナショナル・ビジネス・マシーン

ズ・コーポレーション

INTERNATIONAL BUSIN

ESS MACHINES CORPO

RATION

アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州

アーモンク (番地なし)

(74)代理人 100086243

弁理士 坂口 博 (外1名)

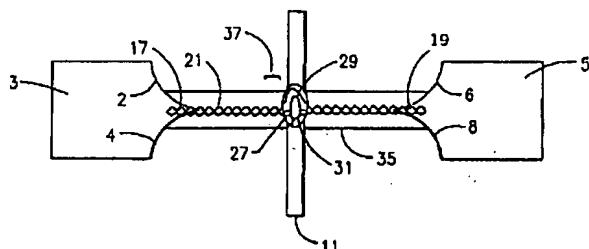
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 DNAを利用した自己組織化ナノデバイス

(57)【要約】

【課題】 有機構造と、前記有機構造上の特定の位置に結合する無機原子を含む製造品を提供する。

【解決手段】 したがって、本発明はナノメートル・スケールのデバイス、すなわちナノデバイスを製造する新規の方法を含む。このようなデバイスを製造するため、本発明はある種の生物学的分子が自己組織化する性質を利用する。たとえば、核酸と、自己組織化する性質を含めて、核酸の諸性質を利用するものである。特に、本発明は、デオキシリボ核酸(DNA)およびリボ核酸(RNA)をデバイスの製造に利用する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】有機構造と、前記有機構造の選択された位置に結合する無機原子とを含む、
製造品。

【請求項2】前記無機原子が導電体を形成する、請求項1に記載の製造品。

【請求項3】前記有機構造がDNAを含む、請求項1に記載の製造品。

【請求項4】Rループを含むDNA分子と、
Rループ内部のDNA分子に結合したナノ粒子とを含む構造。
10

【請求項5】前記ナノ粒子が、強磁性体、共誘電体、または半導体である、請求項4に記載の構造。

【請求項6】前記構造が、Rループの2側面への導体を形成する、請求項4に記載の構造。

【請求項7】前記ナノ粒子が、半導体、金属、および合金からなる群から選択された少なくとも1つの材料を含む、請求項5に記載の構造。

【請求項8】バイオ分子によって位置決めされた電極と、
前記バイオ分子から隔離されたナノ粒子とを含む構造。
20

【請求項9】自己組織化された有機テンプレートを利用して無機材料を自己組織化する方法であって、
有機構造を形成するステップと、
前記有機構造の選択された位置に無機原子を結合させるステップとを含む方法。

【請求項10】基板と、
前記基板上の第1の電極および第2の電極と、
第1の電極と第2の電極の間に延びる有機分子と、
前記有機分子に結合したナノ粒子とを含む構造。
30

【請求項11】前記第1の電極および第2の電極が金を含む、請求項10に記載の構造。

【請求項12】前記有機分子がDNAである、請求項10に記載の構造。

【請求項13】前記DNAが、2本鎖である、請求項12に記載の構造。

【請求項14】前記DNAが、λ-DNAである、請求項12に記載の構造。

【請求項15】第1の電極と第2の電極との間に延びるDNA分子がRループを含み、前記ナノ粒子がRループ内のDNA分子に結合している、請求項12に記載の構造。
40

【請求項16】Rループ内のDNAの、1本の鎖と相補的なRNA鎖をさらに含む、
請求項15に記載の構造。

【請求項17】少なくとも1つのヌクレオチドがナノ粒子に結合している、請求項15に記載の構造。

【請求項18】前記少なくとも1つのヌクレオチドが、Rループ内のDNA分子の、少なくとも1つのヌクレオチドと相補的である、請求項17に記載の構造。
50

【請求項19】前記少なくとも1つのヌクレオチドが、前記第1の電極と第2の電極から等間隔の位置にあるRループ内のDNA分子の、少なくとも1つのヌクレオチドと相補的である、請求項17に記載の構造。

【請求項20】前記第1の電極と第2の電極の表面に結合した有機分子をさらに含む、
請求項10に記載の構造。

【請求項21】前記第1の電極と第2の電極の表面に結合した有機分子がDNAである、請求項20に記載の構造。

【請求項22】前記第1の電極と第2の電極の表面に結合したDNA分子が、末端にイオウを有し、一本鎖である、請求項20に記載の構造。

【請求項23】前記第1の電極に結合したDNA分子が、前記第2の電極に結合したDNA分子と異なる配列を有する、請求項21に記載の構造。

【請求項24】前記第1の電極と第2の電極に結合したDNA分子が、5個～20個の塩基対を含む、請求項21に記載の構造。

【請求項25】前記第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子が、前記第1の電極と第2の電極の表面に結合したDNA分子とハイブリッドを形成する、請求項21に記載の構造。

【請求項26】前記第1の電極と第2の電極の間に延びる有機分子上に、導電性材料をさらに含む、請求項10に記載の構造。

【請求項27】前記有機分子がDNAであり、
前記導電性材料が、前記DNA分子のリン酸基に結合した銀イオンを含む、請求項26に記載の構造。

【請求項28】前記有機分子がDNAであり、
前記導電性材料が、前記DNA分子上の金属銀を含む、
請求項26に記載の構造。

【請求項29】前記第1の電極と第2の電極の間にある基板上に、第3の電極をさらに含む、
請求項10に記載の構造。

【請求項30】前記第3の電極が、前記第1および第2の電極から等間隔である、請求項29に記載の構造。

【請求項31】前記第3の電極の幅が、約100nm～約5000nmである、請求項29に記載の構造。

【請求項32】前記第3の電極の厚みが、100nm未満である、請求項29に記載の構造。

【請求項33】前記第3の電極が、前記第1の電極と第2の電極の間に延びる有機分子に垂直である、請求項29に記載の構造。

【請求項34】前記有機分子が、前記第3の電極に接触する、請求項29に記載の構造。

【請求項35】2つの電極が、約1μm～約100μmの間隔で分離されている、請求項10に記載の構造。

【請求項36】前記第1の電極および第2の電極が、酸素を含有しない材料でできている、請求項10に記載の

構造。

【請求項37】前記第1の電極および第2の電極の末端が、相互に面する鋭い先端を有する、請求項10に記載の構造。

【請求項38】前記基板が、ガラスを含有する材料でできている、請求項10に記載の構造。

【請求項39】前記第1の電極と第2の電極の間に位置する第4の電極をさらに含む、
請求項10に記載の構造。

【請求項40】前記第4の電極の幅が、約100nm～
約500nmである、請求項39に記載の構造。

【請求項41】前記第4の電極の厚みが、100nm未満である、請求項39に記載の構造。

【請求項42】前記第4の電極が、前記第1の電極と第2の電極の間に延びる有機分子に垂直である、請求項39に記載の構造。

【請求項43】前記有機分子が、前記第3の電極および第4の電極に接触する、請求項39に記載の構造。

【請求項44】前記電極と、前記第1の電極と第2の電極の間に延びる有機分子とがANDゲートを形成する、
請求項43に記載の構造。

【請求項45】前記基板上に第3の電極および第4の電極と、
前記第3の電極と第4の電極の間に延びる第2の有機分子と、
前記第2の有機分子に結合したナノ粒子をさらに含む、
請求項10に記載の構造。

【請求項46】前記基板上の、少なくとも前記第1の電極と第2の電極の間に配置された第5の電極と、
前記基板上の、少なくとも前記第3の電極と第4の電極の間に配置された第6の電極をさらに含む、
請求項45に記載の構造。

【請求項47】前記有機分子が、前記第5の電極および第6の電極に接触し、
前記電極と前記有機分子が電気的に接続されてORゲートを形成する、
請求項46に記載の構造。

【請求項48】前記第1の電極と第2の電極のうち一方が、前記第3の電極と第4の電極のうち一方と電気的に接続され、前記第1の電極と第2の電極のうち他方が、前記第3の電極と第4の電極のうち他方と電気的に接続されている、請求項47に記載の構造。

【請求項49】前記有機分子に結合した複数のナノ粒子を含む、請求項10に記載の構造。

【請求項50】基板上に第1の電極を形成するステップと、

基板上に第2の電極を形成するステップと、

前記第1の電極と第2の電極との間に延びる有機分子を配設するステップと、

前記有機分子の少なくとも1箇所に少なくとも1つのナ

ノ粒子を挿入するステップとを含む方法。

【請求項51】前記有機分子上に導電性材料を配置するステップをさらに含む、
請求項50に記載の方法。

【請求項52】前記第1の電極と第2の電極上に有機分子を配置するステップをさらに含む、
請求項50に記載の方法。

【請求項53】前記第1の電極と第2の電極との間に延び、前記第1の電極と第2の電極上に付着する有機分子がDNAである、請求項52に記載の方法。

【請求項54】前記第1の電極と第2の電極に付着するDNA分子が1本鎖であり、末端にイオウを有し、約5個～約20個の塩基を含有し、異なる塩基配列を有し、前記第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子が、前記第1の電極と第2の電極に結合するDNA分子と相補的であり、これらのDNA分子とハイブリッドを形成する付着末端を含む、
請求項53に記載の方法。

【請求項55】第1の電極および第2の電極にDNA分子を付着させるステップと、
前記第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子を、第1の電極および第2の電極に付着したDNA分子に結合させるステップとをさらに含む、
請求項53に記載の方法。

【請求項56】前記第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子中に、前記第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子の少なくとも一部分に相補的な少なくとも1つのRNA鎖を使用して、少なくとも1つのRループを形成するステップと、
RNA分子に付着しない各Rループ内のDNAの一部分にナノ粒子を付着させるステップとをさらに含む、
請求項55に記載の方法。

【請求項57】前記第1の電極および第2の電極に有機分子を付着させるステップが、

第1の電極に付着させるDNA分子の溶液を調製するステップと、

第2の電極に付着させるDNA分子の溶液を調製するステップと、

一方の電極に第1の溶液を、他方の電極に第2の溶液を塗布してイオウを電極に付着させ、前記溶液を洗い流すステップとをさらに含む、
請求項54に記載の方法。

【請求項58】前記第1の電極と第2の電極との間に延びるDNA分子の溶液を、基板上の第1の電極と第2の電極の間に注入するステップと、

第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子を第1の電極と第2の電極の間に位置合わせするステップとをさらに含む、
請求項57に記載の方法。

【請求項59】前記第1の電極と第2の電極との間にフ

5

ロー・フィールドまたは電場を誘導することにより、DNA分子の位置合わせを行う、

請求項5 8に記載の方法。

【請求項6 0】前記第1の電極と第2の電極の間に、第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子の一部に對して相補的なRNA鎖を使用して、第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子中にRループを形成するステップと、

RNA分子に付着していないRループ中のDNAの一部にナノ粒子を付着させるステップをさらに含む、

請求項5 9に記載の方法。

【請求項6 1】Rループ内のDNAに付着させる前に、Rループ内のDNAループの部分の、少なくとも1個の塩基に相補的な少なくとも1個のヌクレオチドにより、ナノ粒子を機能化させるステップをさらに含む、

請求項5 6または6 0に記載の方法。

【請求項6 2】ナノ粒子の懸濁液を生成し、前記第1の電極と第2の電極との間に延びるDNA分子上に、前記ナノ粒子の懸濁液を注入するステップをさらに含む、

請求項6 1に記載の方法。

【請求項6 3】前記第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子上に、導電性材料を付着させるステップをさらに含む、

請求項6 2に記載の方法。

【請求項6 4】基板を、銀を含有する溶液に浸漬して、DNA分子のリン酸基との銀塩を生成させることにより、前記第1の電極と第2の電極との間に延びるDNA分子上に、導電性材料を付着させる方法において、前記第1の電極と第2の電極との間に延びるDNA分子上に付着させた銀塩を、金属銀に還元するステップをさらに含む、請求項6 3に記載の方法。

【請求項6 5】前記銀塩を還元するステップが、銀塩を還元剤に露出するステップを含む、

請求項6 4に記載の方法。

【請求項6 6】前記銀塩を還元するステップが、銀塩をハイドロキノン/OH⁻に露出した後、ハイドロキノン/H⁺に露出するステップを含む、

請求項6 5に記載の方法。

【請求項6 7】前記第1の電極と第2の電極との間の、基板上に第3の電極を設けるステップをさらに含む、

請求項5 1に記載の方法。

【請求項6 8】有機分子上の導電材料と、前記第3の電極との間に静電結合を形成するステップをさらに含む、

請求項6 7に記載の方法。

【請求項6 9】有機分子上の導電材料と、前記第3の電極とを電気的に接続して、ORゲートを形成するステップをさらに含む、

請求項6 7に記載の方法。

【請求項7 0】基板上に第3の電極と第4の電極を設けるステップと、

10

20

30

40

50

6

前記第3の電極と第4の電極との間に第2の有機分子を延ばし、

少なくとも1個のナノ粒子を前記第2の有機分子に結合させるステップとをさらに含む、

請求項5 0に記載の方法。

【請求項7 1】基板上に、少なくとも前記第1の電極と第2の電極との間に配置した第5の電極を設けるステップと、

基板上に、少なくとも前記第3の電極と第4の電極との間に配置した第6の電極を設けるステップをさらに含む、

請求項6 8に記載の方法。

【請求項7 2】前記有機分子と前記電極とを電気的に接続して、ORゲートを形成するステップをさらに含む、

請求項7 0に記載の方法。

【請求項7 3】前記第1の電極と第2の電極の一方を、前記第3の電極と第4の電極の一方と電気的に接続するステップと、

前記第1の電極と第2の電極の他方を、前記第3の電極と第4の電極の他方と電気的に接続するステップをさらに含む、

請求項7 0に記載の方法。

【請求項7 4】複数のナノ粒子が、前記有機分子の複数の位置に挿入される、請求項5 0に記載の方法。

【請求項7 5】基板と、前記基板上の第1の電極および第2の電極と、前記第1の電極と第2の電極との間に延びる有機分子と、前記有機分子に結合するナノ粒子と、前記有機分子上の導電性材料とを含むデバイスを制御する方法であって、

前記導電性材料中にバイアスを形成するステップと、前記ナノ粒子中の電荷を調整して、前記導電性材料中で電流変化を生じさせるステップとを含む方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体チップの分野に関するものである。特に、本発明は、フィーチャ寸法が極めて小さい能動デバイスを含む半導体チップに関するものである。本発明はまた、前記のような寸法の能動フィーチャを含む半導体チップを形成する方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】シリコン・チップ上の能動デバイスの寸法の縮小は、フォトリソグラフィ技術上の制約のため、その限度に近付きつつある。たとえば、干渉や回折など放射線の波動特性により、デバイスの寸法および集積度が制限されることがある。このフォトリソグラフィ技術による制約の問題を解決するため、かなりの研究が行われている。

【0003】これらの研究は、移相リソグラフィなど、さらに他の新規の解決方法を開発することによる、問題

の解決に向けられている。これらの研究に付随して、小体積への電子の閉じ込めを利用するデバイス設計が開発されている。このようなデバイス設計における3つの基本的カテゴリーは、量子ドット (Q D) 、共鳴トンネル・デバイス (R T D) 、および単一電子トランジスタ (S E T) である。量子ドットについては、R. タートン (Turton) 、「The Quantum Dot」、英国オックスフォード、Oxford University Press、(1995年) で詳細に論じられており、共鳴トンネル・デバイスについては、A. C. シーボー (Seabaugh) 他、Future Electronic Devices (F E D) J.、Vol. 3, Suppl. 1, p. 9~20 (1993年) で詳細に論じられており、単一電子トランジスタについては、M. A. カストナー (Kastner) 、Rev. Mod. Phys.、Vol. 64, p. 849~858、(1992年) で詳細に論じられている。これらの開示の全文を、参照として本明細書に添付する。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、ナノメートル・スケールのデバイス、すなわちナノデバイスを提供することである。本発明のもう1つの目的は、ナノデバイスを製造する方法を提供することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明の態様により、有機構造と、この有機構造の特定位置に結合した無機原子とを含む製造物が提供される。

【0006】本発明の他の態様は、Rループを含むDNA分子を含む構造を含む。ナノ粒子が、Rループ内部でDNA分子に結合している。

【0007】本発明の他の態様によれば、バイオ分子によって位置決めされた電極と、前記バイオ分子から隔離されたナノ粒子とを含む構造が提供される。

【0008】本発明のさらに他の態様によれば、自己組織化された有機テンプレートを利用して、無機材料を自己組織化する方法が提供される。この方法は、有機構造を形成し、この有機構造の特定位置に無機原子を結合させるステップを含む。

【0009】本発明のさらに他の態様によれば、基板と、前記基板上に設けた第1の電極および第2の電極と、前記第1の電極と第2の電極の間に延びる有機分子を含む構造が提供される。ナノ粒子が、前記有機分子に結合している。

【0010】さらに、本発明の態様によれば、構造を形成する方法が提供される。この方法は、基板上に第1の電極を形成するステップを含む。前記基板上に第2の電極も形成される。DNA分子が、前記第1の電極と第2の電極の間に延びる。少なくとも1個のナノ粒子が、DNA分子の少なくとも1カ所に挿入される。

【0011】

【発明の実施の形態】本発明によれば、フォトリソグラフィ技術に付随する問題を解決し、実際に回避する方法

が提供される。得られたデバイスは一般に知られた技術により製造したものより大幅に小さくすることができる。したがって、本発明はナノメートル・スケールのデバイス、すなわちナノデバイスを製造する新規の方法を含む。本発明は、前記参照の共鳴トンネル・デバイスの範疇に該当すると考えられる。

【0012】このようなデバイスを製造するため、本発明はある種の生物学的分子が自己組織化する性質を利用する。たとえば、核酸と、その自己組織化する性質を含めて、核酸の諸性質を利用するものである。特に、本発明は、デオキシリボ核酸 (DNA) およびリボ核酸 (RNA) をデバイスの製造に利用する。

【0013】DNAおよびRNAの性質はよく知られている。少数の核酸塩基が付着して、それより長い分子を形成する。DNAの場合、2個のこれらの長くなった分子が結合して、二重らせん構造を形成する。RNA分子は通常、タンパク質合成の間に、2本鎖のDNAの、1本の鎖を転写することにより形成される。背景を知るには、ルバート・ストライヤー (Lubert Stryer) 、「BIO CHEMISTRY」、W.H. Freeman and Companyを参照されたい。この全文を、参照として本明細書に添付する。

【0014】本発明による構造は、通常本発明のナノデバイスが形成される基板を含む。この基板は、ガラスを含む。また、基板はガラスであっても他の材料であっても、どのような一般的な半導体材料を含むものでもよい。たとえば、基板はシリコンを含むものでもよい。

【0015】基板上には電極が配置される。通常、少なくとも2個の電極が基板上に配置される。これらの電極は、一般的なフォトリソグラフィ技術により基板上に形成される。

【0016】これらの電極は、あらゆる酸化物を含有しない、導電性材料で形成される。たとえば、これらの電極は、あらゆる貴金属、または貴金属を含む合金で形成することができる。好ましくは、これらの電極は、酸化物を含有しない金属で形成される。一例によれば、これらの電極は金で形成される。

【0017】図1 (a) は、基板表面上、または基板中または基板上、あるいはその両方に形成した他の構造上に設けた2個の電極、すなわち第1の電極3および第2の電極5を有する基板1の実施態様を示す平面図である。第1の電極3および第2の電極5は、互いに近接して設けることができる。第1の電極と第2の電極の間隔は、実施態様により変えることができる。一例によれば、第1の電極と第2の電極の間隔は、約0.1 μm～約100 μmである。通常、これらの電極の間隔は、約1 μm～約10 μmとする。さらに、これらの電極の厚みは通常約20 nm～約1000 nmである。

【0018】第1の電極および第2の電極は、実施態様により種々の形状とすることができます。図1 (a) は、第1の電極3と第2の電極5の末端が、相互に面する尖

端7および9を有する例を示す。電極の側面2、4、6、および8は図1(a)に示す実施態様では湾曲しているが、これらの側面は直線状を含むあらゆる曲線でよい。第1の電極と第2の電極の、残りの部分の構成は、この残りの部分が電力を第1の電極と第2の電極に供給する電源への接続に必要な面積を有する限り、変えることができる。

【0019】本発明は、基板1上に第3の電極11を含むことができる。この第3の電極11はゲート電極と呼ぶ。第3の電極の機能については、下記に詳細に説明する。

【0020】図1(a)に示す実施態様で図示するように、第1の電極3と第2の電極5との間に第3の電極11を配置することができる。第3の電極11はまた、通常のフォトリソグラフィ技術を利用して形成することができるが、他の技術を利用してよい。

【0021】第3の電極11の構成、たとえば形状は、実施態様により変えることができる。たとえば、図1(a)に示す第3の電極11は、実質的に長く、薄い長方形、換言すれば実質的に直線である。

【0022】第3の電極の厚みは、実施態様により変えることができる。たとえば、第3の電極の幅は約100nm～約5000nmでよい。第3の電極はできる限り薄いことが好ましい。一実施態様によれば、第3の電極の厚みは、約100nm未満である。

【0023】第3の電極を含む3個の電極の寸法、特に厚みは、種々の要因によって決まる。たとえば、電極、特に第3の電極の厚みは、電極を製造する前記貴金属または合金などの、皮膜の品質によって決まる。第3の電極の寸法に影響を与える皮膜の品質特性には、平滑さ、導電性、および接着性がある。

【0024】第3の電極の位置は、実施態様により変えることができる。たとえば、第3の電極の目的により、その位置が決まる。一実施態様によれば、第3の電極11の位置は、第1の電極3と第2の電極5の尖端7および9から等間隔である。一実施態様によれば、第3の電極は、第1の電極3と第2の電極5の尖端7および9を結ぶ線に垂直となるように配置される。

【0025】第1の電極3および第2の電極5と同様に、第3の電極11もどのような導電性材料で製造してもよい。たとえば、第3の電極はどのような金属または合金で製造してもよい。好ましくは、第3の電極は酸化物を含有しない金属で製造する。一例によれば、第3の*

*電極は金で形成されている。

【0026】図1(b)は、図1(a)に示す基板と、第1の電極、第2の電極、および第3の電極の実施態様を示す断面図である。

【0027】本発明は、第1の電極3と第2の電極5との間に第4の電極を含むものでもよい。図11は、このような実施態様を示す。第4の電極は、実質的に前記の第3の電極に類似している。ある実施態様によれば、各対の電極間に1個以上の電極が伸びていてよい。

【0028】さらに、本発明は第1の電極3と第2の電極5のような電極の対を、1対以上含むことができる。たとえば、図12に示す実施態様は、2対の電極を含む。図12に示す各対の電極は、図1(a)に示す実施態様の第1の電極3と第2の電極5との間の電極11に類似した電極を間に含んでいる。

【0029】電極を設けた後、フォトリソグラフィ技術、または他の技術を利用して、図1(a)に示す実施態様のように、少なくとも1個の有機構造を、第1の電極3と第2の電極5との間に延ばすことができる。しかし、この有機構造は2個の電極間に伸びている必要はない。この少なくとも1個の有機構造は、少なくとも特定の1カ所に結合した、少なくとも1個の無機原子を含むことができる。この結合は、水素結合、イオン結合、共有結合その他どのような種類の結合でもよい。無機原子は、導電性があり、導体を形成するものでよい。

【0030】この有機構造に結合される少なくとも1個の無機原子は、ナノ粒子を含むことができる。このナノ粒子は、少なくとも1個の部分的に導電性材料を含むことができる。たとえば、ナノ粒子は、貴金属または貴金属合金からなる群から選択した少なくとも1つの材料を含むことができる。一例によれば、ナノ粒子は金である。

【0031】ナノ粒子は、複数の元素を含むことができる。たとえばナノ粒子が金であれば、この金は直径約1nm～約100nmの球状とすることができます。この粒子は、少なくとも1つの界面活性剤でコーティングすることができる。この界面活性剤は、末端基xおよびyを有することができる。基xおよびyは、重合体の端部に配置することができる。たとえば、基xおよびyは、重合体の両端に結合することができる。この重合体は、種々の単量体を含むことができる。単量体の例には下記のものがある。

【化1】

R

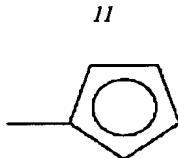
|

R'

—(CH₂)_n—、 —(CH₂—O)_n—および —Si—O—_n—

ここで、n>1、RおよびR'はCH₃、C₂H₅、また50は、

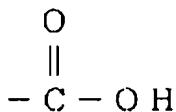
【化2】



である。

【0032】基xは-SHを含むことができる。一方、基yは

【化3】



またはヌクレオチド塩基を含むことができる。

【0033】x基は、金または銀の、たとえば粒子に結合することができる。y基は、ヌクレオチドに結合することができる。yが酸基である場合、この酸基はDNA塩基のアミン基と反応することができる。yがヌクレオチド塩基である場合、この塩基はDNA分子と水素結合することができる。

【0034】上述のように、本発明は有機構造を含む。この有機構造は、前記のように第1の電極3と第2の電極5の間に伸びることができる。この有機構造は、DNAを含むことができる。

【0035】本発明に含まれることができるDNAは、一本鎖でも2本鎖でもよい。本発明による有機構造に含まれるDNA鎖の長さは、約300～約300,000の塩基、または2本鎖のDNAの場合には塩基対とすることができる。また、DNA分子の長さは、約0.1μm～約100μmとすることができます。

【0036】1実施態様によれば、このDNAはλ-DNAである。しかし、どのような塩基配列のDNA分子でも、本発明に使用することができる。換言すれば、DNAは任意に選択することができる。

【0037】本発明による有機構造に含まれるDNA分子は、Rループを含むものとすることができます。Rループの説明は、アサイ(Asai)およびコゴマ(Kogoma)、「D-Loops and R-Loops: Alternative Mechanism for the Initiation of Chromosome Replication in *Escherichia coli*」、JOURNAL OF BACTERIOLOGY、1994年4月、p.1807～1812、ランドグラフ(Landgraf)他、「R-loop stability as a function of RNA structure and size」、NUCLEIC ACID RESEARCH、1995年、Vol. 23、No. 7、p.3516～3523、ランドグラフ他、「Double stranded scission of DNA directed through sequence-specific R-loop formation」、NUCLEIC ACID RESEARCH、1995年、Vol. 23、No. 7、p.3524～3530、およびマサイ(Masaki)およびアライ(Arai)、「Mechanisms of primer RNA synthesis and D-loop/R-loop dependent DNA replication in *Escherichia coli*」、BIOCHEMIE (1996年)

10

20

30

40

50

78、p.1109～1117に記載されている。これらの内容の全体を、本明細書に参照として添付する。

【0038】Rループは、1個または複数のナノ粒子がDNA分子に付着する場所を設ける機能を有する。したがって、DNA分子は少なくとも1個のRループを含むことができる。図11は、2個のRループを含む実施態様を示す。

【0039】各Rループは、Rループ内でDNAの一部に結合した、少なくとも1個のナノ粒子を含むことができる。2個以上のRループを含むことに加え、各Rループ内のDNA分子の部分に、2個以上のナノ粒子を付着させることもできる。1個または複数のナノ粒子をRループに付着させる諸ステップについては、下記に詳細に述べる。

【0040】このRループは、前記の参考技術論文に開示されたものなど、Rループを形成するためのどのような既知の技術によって形成してもよい。DNA分子の少なくとも一部に相補的な配列を有する少なくとも1個のRNA分子が、Rループの形成に利用することができる。上述のように、DNA分子は2個以上のRループを含んでもよい。したがって、2個以上のRNA分子を、DNA分子中にRループを形成するのに利用することができる。各RNA分子は、DNA分子の異なる配列に、相補的な配列を持つことができる。

【0041】1個または複数のRループが形成される場所を制御するために、RNA分子の配列を制御することができる。たとえば、DNA分子が1個のRループを含み、このRループがDNA分子の中央に位置する場合、Rループ形成時に、RNA分子が実質的にDNA分子の中央に、すなわちDNA分子の両端から等間隔に位置位置するように、RNA分子はDNA分子の配列と相補的な配列を持つものとすることができる。図11に示すような他の例によれば、Rループ形成時に、RNA分子がDNA分子を実質的に等しい長さを有する3つの部分に分割するよう位置するように、RNA分子はDNA分子の配列と相補的な配列を持つものとすることができる。

【0042】1個または複数のRループを形成するに使用するRNA分子の配列は、DNA分子の下に置かれる電極に対するDNA分子の位置に応じて変えることができる。これらの線に沿って、RNA分子はRループが下層の電極の上に位置することができるよう、配列を持つことができる。本発明が2個以上のRループを含み、Rループがそれぞれ電極の上に位置する場合、Rループの形成に使用するRNA分子は、図1(a)に示す実施態様の、第3の電極11のように、Rループが下層の電極の上に位置するよう、配列を持つことができる。

【0043】上述のように、本発明は少なくとも1個のナノ粒子を含むことができる。ナノ粒子の有機構造への結合を容易にするために、ナノ粒子は、ナノ粒子に付着

13

した1個以上の原子または基を含むことができる。1個以上のこののような原子または基を付着させることにより、ナノ粒子を「機能化」させることができる。

【0044】有機構造がDNA分子を含む場合、少なくとも1個のヌクレオチドをナノ粒子に付着させることができる。ナノ粒子に付着した少なくとも1個のヌクレオチドは通常、RNA分子に付着しないRループの部分にあるDNA分子のRループ内の、少なくとも1個のヌクレオチドと相補的である。したがって、ナノ粒子に付着したヌクレオチドは、DNA分子の配列と、ナノ粒子がDNA分子に付着するのが望ましい位置にあるDNA分子の配列に依存することができる。ナノ粒子と、ナノ粒子のDNA分子への付着に関しては前記に詳細に述べたとおりである。

【0045】ナノ粒子は、Rループ内のどこででもDNA分子の部分に付着してもよい。一実施態様によれば、ナノ粒子はRループ内にある部分の中央付近でDNA分子に付着している。したがって、ナノ粒子の位置はRループの位置に依存する。たとえば、DNA分子がDNA分子の実質的に中央に1個のRループを含む場合、ナノ粒子はDNA分子両端のほぼ中心でDNA分子に付着することができる。

【0046】本発明は、有機構造上に導電性材料を含むことができる。この導電性材料には、どのような導電性材料も含まれる。一実施態様によれば、銀がこの有機構造と塩を形成する。金属銀を有機構造上に設けてよい。

【0047】有機構造上に設けた導電性材料は、この有機構造上に導体を与える。ある場合には、この導体は機能的構造の形成に使用される。有機構造上に設けた導電性材料は、有機構造上の導電性材料と下層の電極との間に静電結合を形成することができる。これは、ナノ粒子上の原子または原子団、あるいはその両方を機能化させることにより行うことができる。有機構造上の1個または複数の導体は、論理デバイスの形成に利用することができる。たとえば、下記に詳細に述べるように、本発明による構造は、他の構造の中で、ANDゲートおよびORゲートの形成に利用することができる。

【0048】有機構造がDNA分子、DNA分子中のRループ、およびDNA分子に付着したナノ粒子を含む場合、有機構造上の導電性材料は、DNA分子上のRループの2側面に導体を形成する。

【0049】有機構造を、銀イオンを含有する溶液に浸漬することにより、有機材料に導電性コーティングを施すことができる。その後、溶液中の銀イオンはこの有機構造との銀塩を形成する。有機構造がDNAを含む場合、この銀はDNA分子のリン酸基との塩を形成することができる。

【0050】塩の形成後、塩中の銀を、還元剤により金属銀に還元することができる。利用できる還元剤には、

14

ハイドロキノン/OH⁻の後、ハイドロキノン/OH⁺の使用がある。

【0051】有機構造は、基板表面上の電極、たとえば図1(a)に示す第1の電極および第2の電極に接続することができる。これらの電極については詳細に上述されている。接続は種々の方法で行うことができる。たとえば、接続は、電極上に有機構造を付着させる場所を設けることにより実施することができる。

【0052】付着場所は、種々の構造により設けることができる。たとえば、1個または複数の原子または分子を、1個または複数の電極上に設けることができる。一例によれば、少なくとも1個の有機分子を少なくとも1個の電極上に設けることができる。この有機分子は、1個または複数の電極の表面に結合させることができる。

【0053】有機構造が第1の電極と第2の電極との間に延びるDNA分子を含む一例によれば、少なくとも1個のDNA分子またはRNA分子、あるいはその両方を、図1(a)に示す第1の電極3と第2の電極5に付着させることができる。有機構造がDNAを含む場合、通常DNAは第1の電極と第2の電極の上に設けられる。このDNAは、種々の方法により電極上に設けることができる。

【0054】一実施態様によれば、DNAは、電極への接続を容易にする原子または分子と結合している。たとえば、DNAは末端にイオウを有してもよい。末端にイオウを有する端部は、金電極の表面に付着することができる。末端にイオウを有する化合物が金の表面に結合することはよく知られている。

【0055】第1の電極と第2の電極との間に延びるDNA分子は、電極上のDNAまたはRNA、あるいはその両方に結合することができる。たとえば、2つの電極間に延びるDNA分子と、前記の例のように、電極に付着した1個または複数のDNA分子の両方が、1本鎖の部分を有することができる。第1の電極と第2の電極との間に延びるDNA分子と、第1の電極と第2の電極に付着した1個または複数のDNA分子の、1本鎖の部分は、これら相互の結合を容易にするために、相補的な端部を有することができる。

【0056】一実施態様によれば、電極に付着したDNAは、1本鎖の、末端にイオウを有するDNAである。電極に結合するDNAまたはRNAが1本鎖であるか2本鎖であるかに関係なく、DNAまたはRNA、あるいはその両方は、約5個～約20個の塩基を含むことができる。しかし、DNA分子またはRNA分子、あるいはその両方は、約100個の塩基ほどの長さでもよい。たとえば、DNA分子またはRNA分子、あるいはその両方は、約15個～約30個の塩基を有するものでもよい。しかし、電極に結合するDNA分子またはRNA分子、あるいはその両方は、そのDNA分子またはRNA分子、あるいはその両方が、第1の電極と第2の電極

10

20

30

40

50

15

間に延びるDNA分子またはRNA分子、あるいはその両方が、確実に第1の電極および第2の電極に付着するように機能するのに必要なだけ、短くても長くてもよい。

【0057】さらに、電極に結合するDNAまたはRNAが1本鎖であるか2本鎖であるかに関係なく、1個の電極に付着するDNA分子またはRNA分子、あるいはその両方は、他方の電極に付着するDNA分子またはRNA分子、あるいはその両方と、塩基の配列が異なってもよい。また、第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子またはRNA分子、あるいはその両方は、DNA分子またはRNA分子、あるいはその両方と全体としては異なる配列を持つものでもよい。

【0058】DNA分子が電極に付着し、このDNA分子が第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子に結合する塩基の配列を有する実施態様によれば、第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子は、第1の電極と第2の電極に付着するDNA分子に相補的な塩基の配列を有する「付着末端(sticky ends)」を含むことができる。

【0059】図2は、第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子21を示す。DNA分子21は、線状の形状で示されている。付着末端23および25は、DNA分子の端部に設けられている。

【0060】第1の電極と第2の電極に付着するDNA分子を構築するか、あるいはその他の方法で得た後、電極に付着させることができる。DNA分子を添加する溶液が生成される。まず、塩の水溶液を生成する。塩の一例は塩化ナトリウムである。各電極に異なる分子を付着させる場合、各DNA分子をそれぞれ別の溶液に添加することができる。

【0061】溶液を生成した後、図3に示すように、1つの溶液の適量13を第1の電極3上に載せ、他の溶液の適量15を第2の電極5上に載せる。どの溶液をどの電極に載せるかは、第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子がどのように配向するのが望ましいかに依存する。各電極に付着させる溶液の量は、溶液中のDNA、RNA、または他の分子、あるいはこれら全部の濃度に依存する。

【0062】前記の要因を決定するのに際し、得られる最終構造が重要である。すなわち、電極3から電極5への、1個のDNAの架橋を形成しなければならない。容量濃度は通常副次的である。流動する溶液も使用することができる。

【0063】電極に所望の分子を付着させるため、溶液を第1の電極および第2の電極に塗布した後、溶液を除去する。2個の電極間への有機構造の付着を容易にするため、通常、溶液は、ある数の分子が電極に付着するのに十分な時間、電極上に放置される。通常、溶液は約10分～約20分間放置する。

10

20

30

40

50

16

【0064】溶液の除去は、多数の方法により行うことができる。たとえば、溶液を洗い流すことができる。たとえば、溶液を洗い流すのに水を使用することができる。通常、溶液は-S-Au結合に付着するどのような原子または基も含まない液体により洗い流す。また、加熱せずに乾燥させてもよい。一例によれば、エア・ガンを利用することができる。

【0065】図4は、溶液を除去した後の、第1の電極3および第2の電極5を示す。分子17および19は、第1の電極および第2の電極に付着したままになる。

【0066】アンカー分子となる分子17および19を電極に付着させた後、第1の電極と第2の電極の間に延びる構造を、たとえば図5に示すように塗布する。有機構造がDNAを含む場合、DNAを電極上と電極間の空間の上にある基板に塗布する。有機構造は、溶液の形で塗布する。電極間にDNAを架橋させる方法の1つは、ブラウン(Braun)他、「DNA-templated assembly and electrode attachment of a conducting silver wire」、Nature, Vol. 391, p.775～777, 1998年2月19日に開示されており、その全文を参照として本明細書に添付する。

【0067】第1の電極と第2の電極との間に延びる1個または複数のDNA分子を、基板と電極に塗布した後、電極に付着させたアンカー分子などの有機構造に結合させることができる。電極と、前記DNAなどのアンカー分子に対するDNA分子の望ましい配向を促進させるため、第1の電極と第2の電極の間に延びるDNAを、それらに位置合わせする傾向の条件下に置くことができる。この条件は、DNA分子を電場(Eフィールド)またはフロー・フィールドに置くことが含まれる。電場を使用する場合は、約10⁴～約10⁶ V/cmとすることができる。一方、フロー・フィールドを使用する場合は、Vを約1～約100 cm/秒とすることができる。

【0068】特定の方法でDNAの位置合わせを促進させることにより、少なくとも1個のDNA分子が、確実に第1の電極と第2の電極の間に延びるようになる。通常、どのようにして「DNA架橋」のみが電極間に形成されるか問題である。さらに、通常、図5にDNA架橋が示される領域の外側にDNA架橋は延びない。

【0069】1個または複数のDNA架橋の形成を容易にするために、DNAの標識に蛍光染料を使用することができる。実験は顕微鏡下で行う。1個の架橋が形成すると直ちに、DNAを含有する溶液を電極部分から除去する。

【0070】1個または複数のDNA分子を第1の電極および第2の電極に結合させた後、第1の電極と第2の電極の間に「架橋」を形成する各DNA分子中に少なくとも1個のRループを形成することができる。Rループは通常、前記の第3の電極など、他の電極の上に配置し

た第1の電極と第2の電極の間にあるDNA分子の領域中に形成する。Rループの形成については、上述のとおりである。図6は、第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子21を示す。このDNA分子は、第3の電極11上のDNA分子の領域に1個のRループ27を含む。

【0071】1個または複数のRループの形成後、ナノ粒子29をDNA分子に結合させることができる。このナノ粒子は、Rループ内にあり、RNA分子に付着していないDNA分子の一部に結合することができる。DNA分子へのナノ粒子の付着を達成させるため、ナノ粒子の懸濁液を生成することができる。この懸濁液は、上述のように表面を変性したナノ粒子を含む。このナノ粒子は、約0.1%～約10%の濃度で、水に懸濁することができる。

【0072】溶液を生成した後、この溶液をRループ上の領域に注入する。ナノ粒子29に付着した「機能化」ヌクレオチド31、原子、または分子、あるいはこれら全部が、Rループ内のDNAに結合する。図7は、ヌクレオチド31が付着したナノ粒子29を示す。図7に示す実施態様では、4つのヌクレオチドがナノ粒子に付着している。通常、約1個～約10,000個のヌクレオチドがナノ粒子に付着する。ナノ粒子に付着した1個または複数のヌクレオチドは、上に詳細に述べたように、Rループ内の1個または複数のヌクレオチドと相補的である。

【0073】DNA分子に結合するナノ粒子上のヌクレオチドの場合、ナノ粒子上のヌクレオチドは、1個または複数のDNA分子のヌクレオチドと水素結合することができる。

【0074】図8(a)は、第1の電極3と第2の電極5との間に延びるDNA分子を示す。このDNA分子は、Rループ内のDNA分子に結合した1個のナノ粒子を有する1個のRループを含む。図8(b)は、Rループ27を有する、RNA33に付着した、二重らせん構造で、さらにナノ粒子29とそれに付着したヌクレオチド31を有する、DNA分子の実施態様の拡大図を示す。

【0075】1個または複数のナノ粒子を第1の電極と第2の電極との間に延びるDNA分子に付着させた後、導電性材料をDNA分子の上に設けることができる。銀の付着の一例は上述のとおりである。第1の電極と第2の電極との間に延びるDNA分子に銀を付着させても、銀イオンの密度が低いため、Rループ上には銀の顕著なシーディングおよび付着は生じない。

【0076】Ag⁺イオンは、DNAのバックボーン中のリン酸イオンと塩を生成する。二重らせん中で、リン酸イオンのO⁻は、二重らせんの周囲に均一に分布する。しかし、鎖を形成するRループ中の密度は約50%低い。また、熱振動により、AgイオンがRループ上

でAgに還元するにつれて、高密度領域、すなわち二重らせん領域に移行する。

【0077】図9は、第1の電極と第2の電極に付着させたDNA分子17および19に結合させることにより、第1の電極3と第2の電極5との間に延びるDNA分子21上に、導電性材料35をメッキした後の、本発明の一実施態様を示す平面図である。このDNA分子は、少なくとも1個のヌクレオチド31が結合したナノ粒子29を有する1個のRループ27を含む。図9に示す構造により、DNA分子21上の導電性材料35とナノ粒子29との間に静電結合37が生じる。

【0078】図10は、図9に示す実施態様の断面図である。図10に見られるように、図示された構造でも、ナノ粒子29と電極11との間に静電結合39が生じる。この電極11はゲート電極と考えられる。

【0079】電極、電極間に延びるDNA分子、Rループ、ナノ粒子、または電極間の相互結合、または電極間に延びるDNA分子上に配置した導電性材料、あるいはこれら全部の数を操作することにより、本発明による構造を有する各種のデバイスを製造することができる。本発明の構造中の条件を操作することにより、ある種の効果を生み出すことができる。たとえば、あるバイアスで、第1の電極と第2の電極との間に延びるDNA分子上の導電性材料中を流れる電流は、ナノ粒子の電荷を調整することにより制御することができる。これは、上述の、シーボー(Seabaugh)他が詳細に記載した、通常の共鳴トンネル・デバイスで行われる。

【0080】これらの線に沿って、図11は、図9に示す実施態様中の電極3および5に類似する、2個の電極41および43を含む、本発明の一実施態様を示す。図11に示した実施態様も、電極41と電極43の間に延びる少なくとも1個のDNA分子45を含む有機構造を含む。導電性材料47が、DNA分子の上に配置されている。このDNA分子は、それぞれ1個のナノ粒子53および55が結合した2個のRループ49および51を含んでいる。さらに、図11に示す実施態様は、図9に示す実施態様中の電極11に類似する、ゲート電極として機能する、Rループ49および51と、付随するナノ粒子53および55の下に配置した、2個の電極57および59を含む。図11に示す構造も、ANDゲートを形成することができる。

【0081】他の代替実施態様によれば、本発明は図12に示すような構造を含むことができる。図12は、図9に示すような実施態様を2個含む本発明の一実施態様を示す。したがって、図12に示す本発明の実施態様は、2対の電極61、63および65、67を含む。図12に示す実施態様はまた、それぞれが電極61と63、および電極65と67の間に延びる、少なくとも1個のDNA分子69および71を含む1対の有機構造を含む。導電性材料73および75をそれぞれDNA分子

69および71の上に配置する。DNA分子はそれぞれ1個のRループ77および79を含み、各Rループには、それぞれ1個のナノ粒子81および83が結合している。さらに、図12に示す実施態様は、図9に示す実施態様中の電極11に類似する、ゲート電極として機能する、Rループ77および79と、付随するナノ粒子81および83の下に配置した電極85および87を含む。

【0082】図12に示す構造は、ORゲートを形成することができる。これは、電極61と65の間の電気的接続89、電極63と67の間の電気的接続91、およびゲート電極85および87への電気的接続93および95をそれぞれ設けることにより達成される。

【0083】まとめとして、本発明の構成に関して以下の事項を開示する。

【0084】(1) 有機構造と、前記有機構造の選択された位置に結合する無機原子とを含む、製造品。

(2) 前記無機原子が導電体を形成する、上記(1)に記載の製造品。

(3) 前記有機構造がDNAを含む、上記(1)に記載の製造品。 20

(4) Rループを含むDNA分子と、Rループ内部のDNA分子に結合したナノ粒子とを含む構造。

(5) 前記ナノ粒子が、強磁性体、共誘電体、または半導体である、上記(4)に記載の構造。

(6) 前記構造が、Rループの2側面への導体を形成する、上記(4)に記載の構造。

(7) 前記ナノ粒子が、半導体、金属、および合金からなる群から選択された少なくとも1つの材料を含む、上記(5)に記載の構造。

(8) バイオ分子によって位置決めされた電極と、前記バイオ分子から隔離されたナノ粒子とを含む構造。

(9) 自己組織化された有機テンプレートを利用して無機材料を自己組織化する方法であって、有機構造を形成するステップと、前記有機構造の選択された位置に無機原子を結合させるステップとを含む方法。

(10) 基板と、前記基板上の第1の電極および第2の電極と、第1の電極と第2の電極の間に延びる有機分子と、前記有機分子に結合したナノ粒子とを含む構造。

(11) 前記第1の電極および第2の電極が金を含む、上記(10)に記載の構造。 40

(12) 前記有機分子がDNAである、上記(10)に記載の構造。

(13) 前記DNAが、2本鎖である、上記(12)に記載の構造。

(14) 前記DNAが、λ-DNAである、上記(12)に記載の構造。

(15) 第1の電極と第2の電極との間に延びるDNA分子がRループを含み、前記ナノ粒子がRループ内のDNA分子に結合している、上記(12)に記載の構造。 50

(16) Rループ内のDNAの、1本の鎖と相補的なRNA鎖をさらに含む、上記(15)に記載の構造。

(17) 少なくとも1つのヌクレオチドがナノ粒子に結合している、上記(15)に記載の構造。

(18) 前記少なくとも1つのヌクレオチドが、Rループ内のDNA分子の、少なくとも1つのヌクレオチドと相補的である、上記(17)に記載の構造。

(19) 前記少なくとも1つのヌクレオチドが、前記第1の電極と第2の電極から等間隔の位置にあるRループ内のDNA分子の、少なくとも1つのヌクレオチドと相補的である、上記(17)に記載の構造。

(20) 前記第1の電極と第2の電極の表面に結合した有機分子をさらに含む、上記(10)に記載の構造。

(21) 前記第1の電極と第2の電極の表面に結合した有機分子がDNAである、上記(20)に記載の構造。

(22) 前記第1の電極と第2の電極の表面に結合したDNA分子が、末端にイオウを有し、一本鎖である、上記(20)に記載の構造。

(23) 前記第1の電極に結合したDNA分子が、前記第2の電極に結合したDNA分子と異なる配列を有する、上記(21)に記載の構造。

(24) 前記第1の電極と第2の電極に結合したDNA分子が、5個～20個の塩基対を含む、上記(21)に記載の構造。

(25) 前記第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子が、前記第1の電極と第2の電極の表面に結合したDNA分子とハイブリッドを形成する、上記(21)に記載の構造。

(26) 前記第1の電極と第2の電極の間に延びる有機分子上に、導電性材料をさらに含む、上記(10)に記載の構造。

(27) 前記有機分子がDNAであり、前記導電性材料が、前記DNA分子のリン酸基に結合した銀イオンを含む、上記(26)に記載の構造。

(28) 前記有機分子がDNAであり、前記導電性材料が、前記DNA分子上の金属銀を含む、上記(26)に記載の構造。

(29) 前記第1の電極と第2の電極の間にある基板上に、第3の電極をさらに含む、上記(10)に記載の構造。

(30) 前記第3の電極が、前記第1および第2の電極から等間隔である、上記(29)に記載の構造。

(31) 前記第3の電極の幅が、約100nm～約5000nmである、上記(29)に記載の構造。

(32) 前記第3の電極の厚みが、100nm未満である、上記(29)に記載の構造。

(33) 前記第3の電極が、前記第1の電極と第2の電極の間に延びる有機分子に垂直である、上記(29)に記載の構造。

(34) 前記有機分子が、前記第3の電極に接触する、

21

上記(29)に記載の構造。

(35) 2つの電極が、約1μm～約100μmの間隔で分離されている、上記(10)に記載の構造。

(36) 前記第1の電極および第2の電極が、酸素を含有しない材料でできている、上記(10)に記載の構造。

(37) 前記第1の電極および第2の電極の末端が、相互に面する鋭い先端を有する、上記(10)に記載の構造。

(38) 前記基板が、ガラスを含有する材料でできている、上記(10)に記載の構造。 10

(39) 前記第1の電極と第2の電極の間に位置する第4の電極をさらに含む、上記(10)に記載の構造。

(40) 前記第4の電極の幅が、約100nm～約5000nmである、上記(39)に記載の構造。

(41) 前記第4の電極の厚みが、100nm未満である、上記(39)に記載の構造。

(42) 前記第4の電極が、前記第1の電極と第2の電極の間に延びる有機分子に垂直である、上記(39)に記載の構造。

(43) 前記有機分子が、前記第3の電極および第4の電極に接触する、上記(39)に記載の構造。

(44) 前記電極と、前記第1の電極と第2の電極の間に延びる有機分子とがANDゲートを形成する、上記(43)に記載の構造。

(45) 前記基板上に第3の電極および第4の電極と、前記第3の電極と第4の電極の間に延びる第2の有機分子と、前記第2の有機分子に結合したナノ粒子をさらに含む、上記(10)に記載の構造。

(46) 前記基板上の、少なくとも前記第1の電極と第2の電極の間に配置された第5の電極と、前記基板上の、少なくとも前記第3の電極と第4の電極の間に配置された第6の電極をさらに含む、上記(45)に記載の構造。 30

(47) 前記有機分子が、前記第5の電極および第6の電極に接触し、前記電極と前記有機分子が電気的に接続されてORゲートを形成する、上記(46)に記載の構造。

(48) 前記第1の電極と第2の電極のうち一方が、前記第3の電極と第4の電極のうち一方と電気的に接続され、前記第1の電極と第2の電極のうち他方が、前記第3の電極と第4の電極のうち他方と電気的に接続されている、上記(47)に記載の構造。 40

(49) 前記有機分子に結合した複数のナノ粒子を含む、上記(10)に記載の構造。

(50) 基板上に第1の電極を形成するステップと、基板上に第2の電極を形成するステップと、前記第1の電極と第2の電極との間に延びる有機分子を配設するステップと、前記有機分子の少なくとも1箇所に少なくとも1つのナノ粒子を挿入するステップとを含む方法。 50

22

(51) 前記有機分子上に導電性材料を配置するステップをさらに含む、上記(50)に記載の方法。

(52) 前記第1の電極と第2の電極上に有機分子を配置するステップをさらに含む、上記(50)に記載の方法。

(53) 前記第1の電極と第2の電極との間に延び、前記第1の電極と第2の電極上に付着する有機分子がDNAである、上記(52)に記載の方法。

(54) 前記第1の電極と第2の電極に付着するDNA分子が1本鎖であり、末端にイオウを有し、約5個～約20個の塩基を含有し、異なる塩基配列を有し、前記第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子が、前記第1の電極と第2の電極に結合するDNA分子と相補的であり、これらのDNA分子とハイブリッドを形成する付着末端を含む、上記(53)に記載の方法。

(55) 第1の電極および第2の電極にDNA分子を付着させるステップと、前記第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子を、第1の電極および第2の電極に付着したDNA分子に結合させるステップとをさらに含む、上記(53)に記載の方法。

(56) 前記第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子中に、前記第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子の少なくとも一部分に相補的な少なくとも1つのRNA鎖を使用して、少なくとも1つのRループを形成するステップと、RNA分子に付着しない各Rループ内のDNAの一部分にナノ粒子を付着させるステップとをさらに含む、上記(55)に記載の方法。

(57) 前記第1の電極および第2の電極に有機分子を付着させるステップが、第1の電極に付着させるDNA分子の溶液を調製するステップと、第2の電極に付着させるDNA分子の溶液を調製するステップと、一方の電極に第1の溶液を、他方の電極に第2の溶液を塗布してイオウを電極に付着させ、前記溶液を洗い流すステップとをさらに含む、上記(54)に記載の方法。

(58) 前記第1の電極と第2の電極との間に延びるDNA分子の溶液を、基板上の第1の電極と第2の電極の間に注入するステップと、第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子を第1の電極と第2の電極の間に位置合わせするステップとをさらに含む、上記(57)に記載の方法。

(59) 前記第1の電極と第2の電極との間にフロー・フィールドまたは電場を誘導することにより、DNA分子の位置合わせを行う、上記(58)に記載の方法。

(60) 前記第1の電極と第2の電極の間に、第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子の一部に対して相補的なRNA鎖を使用して、第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子中にRループを形成するステップと、RNA分子に付着していないRループ中のDNAの一部にナノ粒子を付着させるステップをさらに含む、上記(59)に記載の方法。

(61) Rループ内のDNAに付着させる前に、Rループ内のDNAループの部分の、少なくとも1個の塩基に相補的な少なくとも1個のヌクレオチドにより、ナノ粒子を機能化させるステップをさらに含む、上記(56)または(60)に記載の方法。

(62) ナノ粒子の懸濁液を生成し、前記第1の電極と第2の電極との間に延びるDNA分子上に、前記ナノ粒子の懸濁液を注入するステップをさらに含む、上記(61)に記載の方法。

(63) 前記第1の電極と第2の電極の間に延びるDNA分子上に、導電性材料を付着させるステップをさらに含む、上記(62)に記載の方法。

(64) 基板を、銀を含有する溶液に浸漬して、DNA分子のリン酸基との銀塩を生成させることにより、前記第1の電極と第2の電極との間に延びるDNA分子上に、導電性材料を付着させる方法において、前記第1の電極と第2の電極との間に延びるDNA分子上に付着させた銀塩を、金属銀に還元するステップをさらに含む、上記(63)に記載の方法。

(65) 前記銀塩を還元するステップが、銀塩を還元剤に露出するステップを含む、上記(64)に記載の方法。

(66) 前記銀塩を還元するステップが、銀塩をハイドロキノン/ OH^- に露出した後、ハイドロキノン/ H^+ に露出するステップを含む、上記(65)に記載の方法。

(67) 前記第1の電極と第2の電極との間の、基板上に第3の電極を設けるステップをさらに含む、上記(51)に記載の方法。

(68) 有機分子上の導電材料と、前記第3の電極との間に静電結合を形成するステップをさらに含む、上記(67)に記載の方法。

(69) 有機分子上の導電材料と、前記第3の電極とを電気的に接続して、ORゲートを形成するステップをさらに含む、上記(67)に記載の方法。

(70) 基板上に第3の電極と第4の電極を設けるステップと、前記第3の電極と第4の電極との間に第2の有機分子を延ばし、少なくとも1個のナノ粒子を前記第2の有機分子に結合させるステップとをさらに含む、上記(50)に記載の方法。

(71) 基板上に、少なくとも前記第1の電極と第2の電極との間に配置した第5の電極を設けるステップと、基板上に、少なくとも前記第3の電極と第4の電極との間に配置した第6の電極を設けるステップをさらに含む、上記(68)に記載の方法。

(72) 前記有機分子と前記電極とを電気的に接続して、ORゲートを形成するステップをさらに含む、上記(70)に記載の方法。

(73) 前記第1の電極と第2の電極の一方を、前記第3の電極と第4の電極の一方と電気的に接続するステップと、前記第1の電極と第2の電極の他方を、前記第3

の電極と第4の電極の他方と電気的に接続するステップをさらに含む、上記(70)に記載の方法。

(74) 複数のナノ粒子が、前記有機分子の複数の位置に挿入される、上記(50)に記載の方法。

(75) 基板と、前記基板上の第1の電極および第2の電極と、前記第1の電極と第2の電極との間に延びる有機分子と、前記有機分子に結合するナノ粒子と、前記有機分子上の導電性材料とを含むデバイスを制御する方法であって、前記導電性材料中にバイアスを形成するステップと、前記ナノ粒子中の電荷を調整して、前記導電性材料中に電流変化を生じさせるステップとを含む方法。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による方法の実施態様の一段階(電極の作成)における、本発明によるデバイスの実施態様を示す平面図(a)および断面図(b)である。

【図2】本発明により利用することができるDNA分子の実施態様を示す図である。

【図3】本発明による方法の実施態様の一段階(DNA溶液の電極への塗付)における、本発明によるデバイスの実施態様を示す断面図である。

【図4】本発明による方法の実施態様の一段階(DNA分子の電極への付着)における、本発明によるデバイスの実施態様を示す断面図である。

【図5】本発明による方法の実施態様の一段階(DNA分子の架橋)における、本発明によるデバイスの実施態様を示す断面図である。

【図6】本発明による方法の実施態様の一段階(Rループの作成)における、本発明によるデバイスの実施態様を示す平面図である。

【図7】本発明により利用することができるナノ粒子の実施態様を示す図である。

【図8】本発明による方法の実施態様の一段階(ナノ粒子の付着)における、本発明によるデバイスの実施態様を示す平面図(a)およびその部分拡大図(b)である。

【図9】本発明によるデバイスの実施態様を示す平面図である。

【図10】図9に示すデバイスの実施態様を示す断面図である。

【図11】ANDゲートを形成する本発明によるデバイスの実施態様を示す平面図である。

【図12】ORゲートを形成する本発明によるデバイスの実施態様を示す平面図である。

【符号の説明】

1 基板

3 第1の電極

5 第2の電極

7 電極の尖端

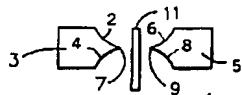
9 電極の尖端

11 第3の電極

17 DNA分子
 19 DNA分子
 21 DNA分子
 27 Rループ
 29 ナノ粒子
 31 ヌクレオチド
 35 導電性材料
 37 静電結合
 39 静電結合
 41 電極
 43 電極
 45 DNA分子
 47 導電性材料
 49 Rループ
 51 Rループ
 53 ナノ粒子
 55 ナノ粒子
 61 電極

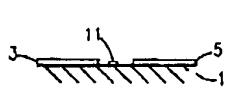
63 電極
 65 電極
 67 電極
 69 DNA分子
 71 DNA分子
 73 導電性材料
 75 導電性材料
 77 Rループ
 79 Rループ
 81 ナノ粒子
 83 ナノ粒子
 85 ゲート電極
 87 ゲート電極
 89 電気的接続
 91 電気的接続
 93 電気的接続
 95 電気的接続

【図1】



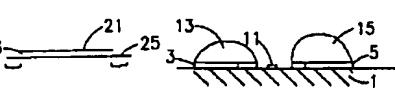
[a]

【図2】

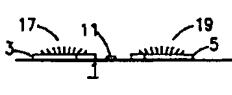


[b]

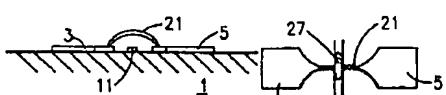
【図3】



【図4】

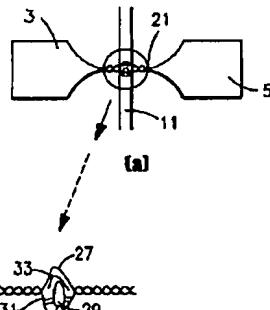


【図5】



【図6】

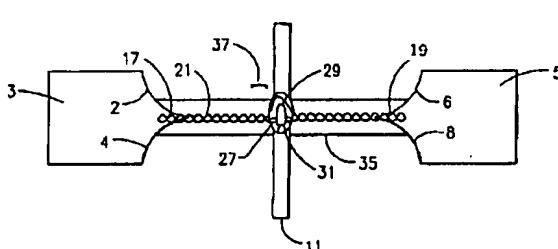
【図7】



[a]

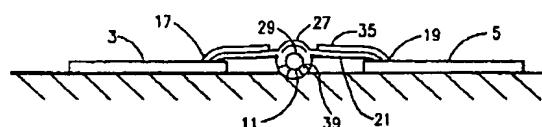


【図9】

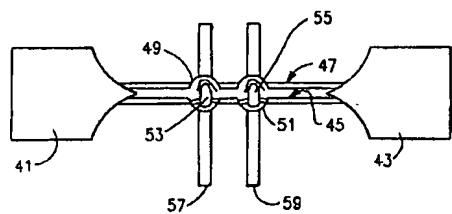


[b]

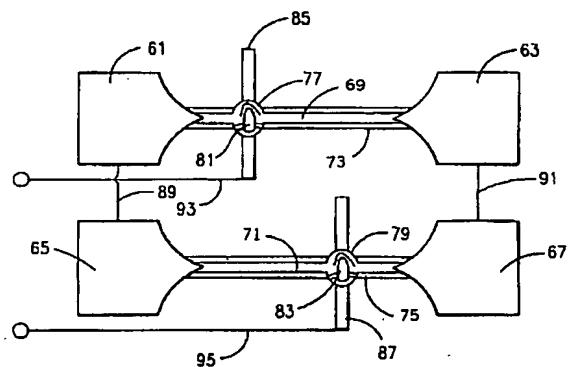
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 ラヴィ・エフ・サラフ
アメリカ合衆国10510 ニューヨーク州ブ
ライア・クリフ・マナー ノース・ステ
ート・ロード333 コブレイ・コート エ
ル8

(72)発明者 ヘマンタ・ヴィクラマーシング
アメリカ合衆国10514 ニューヨーク州チ
ヤパクア キング・ストリート600